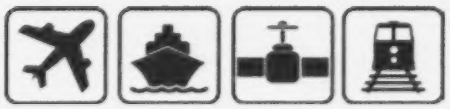
Bureau de la sécurité des transports du Canada
Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A17F0052



Risque de collision avec le relief

WestJet
Boeing 737-800 (C-GWSV)
Aéroport international Princess Juliana
(Sint Maarten)
7 mars 2017

Canada

Bureau de la sécurité des transports du Canada
Place du Centre
200, promenade du Portage, 4e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741
1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2018

Rapport d'enquête aéronautique A17F0052

No de cat. TU3-5/17-0052F-PDF
ISBN 978-0-660-26620-6

Le présent rapport se trouve sur le site Web
du Bureau de la sécurité des transports du Canada
à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête aéronautique A17F0052

Risque de collision avec le relief
WestJet
Boeing 737-800 (C-GWSV)
Aéroport international Princess Juliana
(Sint Maarten)
7 mars 2017

Résumé

Le 7 mars 2017, un Boeing 737-800 (immatriculé C-GWSV, numéro de série 37158) exploité par WestJet effectuait le vol régulier 2652 (WJA2652) selon les règles de vol aux instruments, de l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto (Ontario) à l'aéroport international Princess Juliana (Sint Maarten). Durant l'approche de la piste 10, l'aéronef a dévié de la trajectoire de descente normale. À 15 h 34, heure normale de l'Atlantique (HNA), l'aéronef se trouvait à 0,30 mille marin du seuil de piste et avait descendu à une altitude de 40 pieds au-dessus de la surface de l'eau. L'équipage de conduite a alors exécuté une procédure d'approche interrompue. Comme la visibilité était inférieure aux minima pour effectuer une seconde approche, le vol a reçu l'autorisation d'effectuer un circuit d'attente jusqu'à ce que les conditions s'améliorent. Après que la visibilité se fut améliorée, l'équipage de conduite a effectué une seconde approche et a atterri à 16 h 18 HNA sans autre incident.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base 1

1.1 Déroulement du vol 1
1.2 Tués et blessés 5
1.3 Dommages à l'aéronef 6
1.4 Autres dommages 6
1.5 Renseignements sur le personnel 6
1.5.1 Généralités 6
1.6 Renseignements sur l'aéronef 7
1.6.1 Généralités 7
1.6.2 Système d'avertissement de proximité du sol amélioré 7
1.6.3 Système chasse-pluie 8
1.7 Renseignements météorologiques 8
1.7.1 Généralités 8
1.7.2 Conditions météorologiques durant le vol 8
1.8 Aides à la navigation 10
1.9 Communications 11
1.10 Renseignements sur l'aérodrome 11
1.10.1 Généralités 11
1.10.2 Intensité du balisage d'aérodrome 11
1.11 Enregistreurs de bord 12
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact 12
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques 12
1.14 Incendie 12
1.15 Questions relatives à la survie des occupants 12
1.16 Essais et recherche 13
1.16.1 Séance sur simulateur 13
1.16.2 Rapports de laboratoire du BST 14
1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion 14
1.17.1 Généralités 14
1.17.2 Système de gestion de la sécurité 14
1.17.3 Programme de surveillance des données de vol de WestJet 15
1.17.4 Procédures de WestJet 17
1.18 Renseignements supplémentaires 19
1.18.1 Approches aux instruments à TNCM 19
1.18.2 Références visuelles requises 20
1.18.3 Conscience situationnelle 22
1.18.4 Surveillance de la trajectoire de vol 24
1.18.5 Gestion des menaces et des erreurs 25
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces 28

2.0 Analyse 29

2.1 Introduction 29
2.2 Visibilité 29
2.3 Déviation par rapport au profil d'approche 30

2.4 Acquisition de références visuelles 30
2.4.1 Gestion du balisage lumineux d'aérodrome 31
2.5 Surveillance de la trajectoire de vol 31
2.6 Gestion des menaces et des erreurs 32
2.6.1 Formation sur la gestion des menaces et des erreurs 33
2.7 Système d'avertissement de proximité du sol amélioré 33
2.7.1 Procédures de réponse aux alertes 33
2.7.2 Temps de rétablissement en cas d'alerte 34

3.0 Faits établis 35
3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs 35
3.2 Faits établis quant aux risques 35
3.3 Autres faits établis 36

4.0 Mesures de sécurité 37
4.1 Mesures de sécurité prises 37
4.1.1 WestJet 37
4.1.2 Directives sur la gestion du balisage lumineux d'aérodrome à l'aéroport international Princess Juliana 38

Annexes 39
Annexe A – Carte d'approche pour l'aéroport international Princess Juliana (Sint Maarten) 39

1.0 *Renseignements de base*

1.1 *Déroulement du vol*

Le 7 mars 2017, un aéronef Boeing 737-800 (immatriculé C-GWSV, numéro de série 37158) exploité par WestJet effectuait le vol régulier 2652 (WJA2652) selon les règles de vol aux instruments, de l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto (CYYZ) (Ontario) à l'aéroport international Princess Juliana (TNCM), à Sint Maarten, État autonome du Royaume des Pays-Bas. L'aéronef transportait 158 passagers, 2 membres d'équipage de conduite et 4 membres d'équipage de cabine.

Avant le départ, le service de régulation des vols de WestJet a transmis à l'équipage de conduite des documents d'autorisation de vol qui contenaient tous les renseignements pertinents pour le vol, y compris sur les conditions météorologiques actuelles et prévues et les vents en altitude, les avis aux navigants (NOTAM) et les données d'analyse de l'état des aéroports et des pistes. Les conditions prévues à TNCM indiquaient des vents du 70° vrai (V) à 16 nœuds, une visibilité supérieure à 6 milles terrestres[1] dans de légères averses de pluie, quelques nuages à 1800 pieds, des nuages épars à 2200 pieds, et une autre couche de nuages épars à 3000 pieds.

L'aéronef a quitté CYYZ à 11 h 37[2]. La durée prévue du vol était de 2 heures 24 minutes au niveau de vol (FL) 350[3]. Le commandant de bord occupait le siège gauche comme pilote surveillant (PM); le premier officier occupait le siège de droite comme pilote aux commandes (PF).

À l'approche de sa destination, l'équipage de conduite a écouté le message du service automatique d'information de région terminale (ATIS)[4] Mike[5], émis à 15 h 01, qui faisait état

---

1 Un mille terrestre équivaut à 5280 pieds.

2 Les heures sont exprimées en heure normale de l'Atlantique (temps universel coordonné moins 4 heures), soit l'heure locale à Saint-Martin.

3 Le niveau de vol (FL) est l'« [a]ltitude exprimée en centaines de pieds qui est indiquée sur un altimètre calé à 29,92 po de mercure ou à 1013,2 mb ». (Source : Transports Canada, TP 14371F, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* [AIM de TC], GEN – Généralités [13 octobre 2016], section 5.1.) Dans ce cas-ci, un niveau de vol 350 signifie 35 000 pieds au-dessus du niveau de la mer.

4 Le service automatique d'information de région terminale (ATIS) consiste en « la diffusion continue de renseignements enregistrés aux aéronefs à l'arrivée et au départ, sur une fréquence discrète VHF [très haute fréquence] ou UHF [fréquence décimétrique]. Son usage permet aux contrôleurs et aux spécialistes de l'information de vol d'être plus efficaces et de réduire l'encombrement des fréquences en rendant automatique la transmission répétitive de renseignements essentiels mais d'usage ». (Source : *Ibid.*, RAC – Règles de l'air et services de la circulation aérienne, section 1.3.)

5 « Chaque enregistrement sera identifié par un code de l'alphabet phonétique en commençant par le code "ALFA", puis en continuant par ordre alphabétique pour chaque message subséquent. » (Source : *Ibid.*)

des conditions suivantes : vents du 60° magnétique (M) à 18 nœuds, visibilité maximale, quelques nuages à 1400 pieds et aucune condition météorologique significative aux alentours de TNCM. En plus de se préparer à une approche visuelle[6] de la piste 10, l'équipage de conduite a programmé l'approche RNAV (GNSS)[7] de la piste 10 (annexe A) dans le système de gestion de vol (FMS) et a fait un exposé par mesure préventive en cas de changement dans les conditions météorologiques.

À 15 h 18 min 14 s, le contrôleur de la circulation aérienne (contrôleur) à TNCM a indiqué à l'équipage de conduite de communiquer dès qu'il franchirait le point de cheminement SLUGO[8] (figure 1) et d'attendre des instructions de descente à ce moment. Il a avisé l'équipage de conduite que le message ATIS Mike était en vigueur, et que le calage altimétrique était de 30,09 pouces de mercure.

À 15 h 22 min 39 s, l'équipage de conduite a reçu l'instruction de descendre à 4000 pieds, et à 15 h 23 min 12 s, il a indiqué qu'il survolait le point de cheminement SLUGO.

Figure 1. Vue en plan de l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10 à l'aéroport international Princess Juliana (TNCM), montrant les points de cheminement SLUGO, AVAKI et MAPON (Source : Jeppesen Sanderson Inc., carte d'approche)

---

[6] « Une approche visuelle est une approche au cours de laquelle un aéronef suivant un plan de vol (FP) IFR et évoluant dans des VMC [conditions météorologiques visuelles] sous le contrôle et avec l'autorisation de l'ATC, peut se diriger vers l'aéroport de destination. » (*Ibid.*, section 9.6.2.)

[7] RNAV fait référence à la navigation de surface. Une approche RNAV (GNSS) indique une procédure recourant au GNSS (système mondial de navigation par satellite).

[8] « Emplacement géographique spécifié, déterminé en longitude et latitude, et qui est utilisé pour la définition des routes et des segments de région terminale et le compte rendu de la progression de vol. » (Source : Transports Canada, Circulaire d'information 100-001, *Glossaire à l'intention des pilotes et du personnel des services de la circulation aérienne* [17 septembre 2017].)

À 15 h 24 min 36 s, le contrôleur a informé l'équipage de conduite d'un autre aéronef qui approchait de TNCM devant le WJA2652 que des averses de pluie s'approchaient de l'aéroport.

À 15 h 24 min 48 s, l'équipage de conduite du WJA2652 a reçu l'instruction de se diriger directement au point de cheminement d'approche initiale AVAKI[9] (figure 1) une fois qu'il aurait franchi 8000 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL) en descente. Une minute plus tard, lorsque l'aéronef était à environ 25 milles marins (nm) au nord-ouest de TNCM et franchissait 9800 pieds en descente, le contrôleur a informé l'équipage de conduite qu'il y avait des averses de pluie de modérées à fortes à l'aéroport. L'équipage de conduite n'a pas accusé réception de ce renseignement.

À 15 h 26, le message ATIS November a indiqué que la visibilité était de 2000 m[10]. L'équipage de conduite n'a pas reçu cette mise à jour sur la visibilité; toutefois, apercevant des nuages et des averses de pluie aux abords de l'aéroport, il a décidé de passer d'une approche visuelle à une approche RNAV (GNSS) de la piste 10. Une visibilité d'au moins 3600 m (1,94 nm) est requise pour qu'un aéronef de la catégorie du WJA2652 puisse effectuer une approche RNAV (GNSS).

À 15 h 27 min 2 s, le contrôleur a indiqué une 2e fois à l'équipage de conduite qu'il devait se diriger directement au point de cheminement d'approche initiale AVAKI. Une minute plus tard, lorsque l'aéronef était à 15 nm au nord-ouest de l'aéroport et franchissait 6700 pieds en descente, le contrôleur a donné l'instruction de descendre à 2600 pieds.

À 15 h 28 min 56 s, lorsque l'aéronef était à 13 nm à l'ouest de l'aéroport et franchissait 4900 pieds en descente, l'équipage de conduite a reçu l'autorisation d'effectuer une approche RNAV de la piste 10. Environ 1 minute plus tard, le contrôleur a informé une 2e fois l'équipage de conduite qu'il y avait des averses de pluie de modérées à fortes à l'aéroport. L'équipage de conduite a accusé réception du renseignement alors qu'il se trouvait à 12 nm à l'ouest de l'aéroport et franchissait 3700 pieds en descente.

À 15 h 30 min 32 s, l'équipage de conduite d'un aéronef qui venait d'atterrir à l'aéroport a signalé qu'il y avait des vents stables et une visibilité réduite durant l'approche, en ajoutant qu'il avait repéré visuellement la piste alors qu'il survolait le point d'approche interrompue (MAP)[11] MAPON (figure 1). L'équipage de conduite du WJA2652 a accusé réception du renseignement alors qu'il se trouvait à 10 nm de l'aéroport en approche finale et qu'il franchissait 2100 pieds en descente.

---

9 « Point de cheminement d'une procédure d'approche aux instruments (IAP) auquel l'aéronef quitte la phase en route de vol pour amorcer l'approche. » (Source : *Ibid.*)

10 La visibilité est exprimée en mètres à l'aéroport international Princess Juliana (TNCM); 2000 m équivalent à 1,079 nm.

11 « Point de cheminement de la trajectoire d'approche finale où se termine le segment d'approche finale et où débute le segment d'approche interrompue. […] » (Source : Transports Canada, Circulaire d'information 100-001, *Glossaire à l'intention des pilotes et du personnel des services de la circulation aérienne* [17 septembre 2017].)

À un moment indéterminé durant l'approche, étant donné les averses de pluie de modérées à fortes, le contrôleur a allumé le balisage lumineux de piste en sélectionnant un réglage automatique pour les atterrissages de nuit. Ce réglage fixe l'intensité des feux à 3 %, et celle des feux de l'indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI) à 10 %. Le contrôleur n'a pas informé l'équipage de conduite du changement d'intensité du balisage lumineux, et la réglementation ne l'exigeait pas.

À 15 h 32 min, lorsque l'aéronef était à 4,5 nm de la piste et franchissait 1600 pieds en descente, l'équipage de conduite a reçu l'autorisation d'atterrir; on l'a informé que les vents étaient du 060 °M à 17 nœuds. Le taux de descente de l'aéronef variait de 700 à 800 pieds par minute (pi/min), et l'aéronef suivait un angle de descente de 3°. À environ 0,5 nm avant le MAPON, l'équipage de conduite a remarqué une averse de pluie devant et à sa gauche; toutefois, comme il pouvait apercevoir le rivage et s'attendait à repérer la piste d'un instant à l'autre, il a décidé de poursuivre l'approche visuelle. Le PF a débrayé le pilote automatique et réduit l'assiette de 0,5° en cabré à 1,2° en piqué. Trois secondes plus tard, la poussée des moteurs a diminué, de 62 % à 52 % N_1[12]. Peu après, le taux de descente a augmenté à 1150 pi/min, et l'aéronef a commencé à dévier sous l'angle de descente de 3° de la trajectoire d'approche standard. Environ 2 secondes après l'accroissement du taux de descente de l'aéronef, l'équipage de conduite a désactivé, puis réactivé les directeurs de vol, conformément aux procédures d'approche de WestJet pour atterrir à TNCM[13]. L'automanette est passée du mode vitesse au mode ARM[14] lorsque les directeurs de vol ont été désactivés puis activés de nouveau, et n'a ensuite plus assuré la commande automatique de poussée.

À 15 h 33 min 30 s, l'aéronef a franchi le MAPON à environ 700 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL). Le PF a indiqué qu'il apercevait la piste et a amorcé un mouvement de roulis vers la gauche; l'aéronef s'est trouvé à environ 250 pieds à gauche de la trajectoire d'approche finale. L'équipage de conduite n'a vu ni le balisage lumineux de piste ni les feux PAPI durant l'approche, et il n'a pas demandé que l'on augmente leur intensité. Après qu'il eut franchi le MAPON, l'aéronef a traversé une averse de pluie, qui s'était déplacée vers la trajectoire d'approche finale et avait considérablement réduit la visibilité. Onze secondes plus tard, lorsque l'aéronef n'était plus qu'à 1,5 nm de la piste en approche finale et franchissait 500 pieds en descente, on a informé l'équipage de conduite que les vents étaient du 060 °M à 14 nœuds, avec rafales à 25 nœuds.

À environ 1 nm de la piste, l'aéronef est sorti de l'averse de pluie; la visibilité a soudainement augmenté, et l'équipage de conduite s'est rendu compte qu'il s'était aligné sur un mauvais

---

12 N_1 indique la puissance moteur (tours par minute [tr/min] du compresseur basse pression).

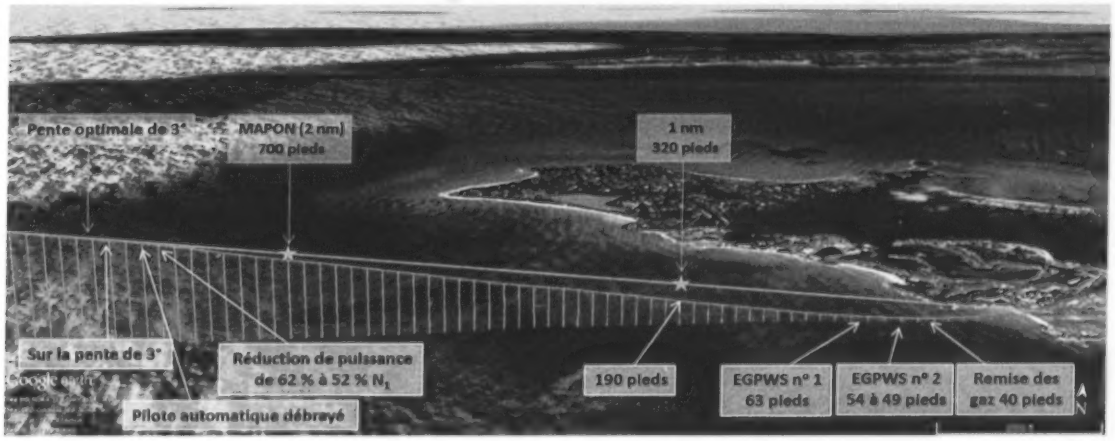
13 Par désactiver et activer de nouveau un directeur de vol (FD), on entend éteindre puis rallumer le système. Cette procédure empêche le système de voler en séquence jusqu'au prochain point de cheminement, et empêche les barres directrices du FD d'afficher un virage. Les barres directrices ne sont plus affichées jusqu'à la sélection d'un autre mode.

14 En mode SPEED (vitesse), l'automanette est conçue pour régler automatiquement la poussée en cas de changement de la vitesse anémométrique par rapport à la vitesse commandée. Le mode ARM (armer) ne procure qu'un minimum de protection de la vitesse au cas où l'aéronef ralentirait à la vitesse minimale de manœuvrabilité.

repère visuel – un hôtel situé à gauche de la piste. À ce moment, l'aéronef se trouvait à 190 pieds AGL et son taux de descente était de 940 pi/min, plutôt que d'être à 320 pieds AGL en suivant un angle de descente standard de 3°. Voyant maintenant la piste, l'équipage de conduite a compris qu'il y avait eu déviation latérale vers la gauche de l'aéronef par rapport à la trajectoire d'approche finale. Toutefois, il ne pouvait pas immédiatement évaluer sa hauteur au-dessus de la surface de l'eau. Le PF a poussé les manettes des gaz, de 52 % à 75 % N_1 et a commencé à corriger la déviation latérale, mais l'aéronef a poursuivi sa descente à quelque 860 pi/min.

À 15 h 34 min 3 s, alors que l'aéronef était à 63 pieds au-dessus de l'eau, le système d'avertissement de proximité du sol amélioré (EGPWS) de l'aéronef a émis une alerte sonore « TOO LOW, TERRAIN » (trop bas, relief), et le PF a augmenté l'assiette à 4° en cabré. L'aéronef a poursuivi sa descente, et il y a eu une seconde alerte sonore « TOO LOW, TERRAIN » alors qu'il passait de 54 pieds à 49 pieds AGL (figure 2).

Figure 2. Angle de descente standard de 3° comparativement à la trajectoire d'approche verticale de l'aéronef



À 15 h 34 min 12 s, lorsque l'aéronef était à 40 pieds au-dessus de l'eau et à 0,3 nm du seuil de piste, l'équipage de conduite a amorcé une remise des gaz. L'altitude la plus faible enregistrée par l'EGPWS durant la descente était de 39 pieds AGL.

Après la remise des gaz, le contrôleur a donné à l'équipage de conduite l'instruction d'effectuer un circuit d'attente. Puisque la visibilité était inférieure au niveau requis pour effectuer une approche (3600 m), le contrôleur a fermé la piste 10 pour les départs et a indiqué à plusieurs autres aéronefs en approche d'effectuer des circuits d'attente.

Environ 45 minutes plus tard, la visibilité à TNCM a augmenté, et le WJA2652 a été autorisé à effectuer une approche RNAV (GNSS) de la piste 10. L'aéronef a atterri sans incident à 16 h 18 min 19 s.

1.2 Tués et blessés

On n'a signalé aucun blessé.

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aéronef n'a pas été endommagé.

1.4 Autres dommages

L'événement à l'étude n'a causé aucun dommage à des biens ni à des objets.

1.5 Renseignements sur le personnel

Tableau 1. Renseignements sur le personnel

	Commandant de bord	Premier officier
Licence de pilote	Licence de pilote de ligne (ATPL)	Licence de pilote de ligne (ATPL)
Date d'expiration du certificat médical	31 mai 2017	31 mai 2017
Heures de vol total	14 000	12 500
Heures de vol au cours des 7 derniers jours	19	25
Heures de vol au cours des 30 derniers jours	78	99
Heures de vol au cours des 90 derniers jours	275	241
Heures de vol sur type au cours des 90 derniers jours	275	241
Heures de service avant l'événement	Environ 7	Environ 7
Heures hors service avant la période de travail	3	2

1.5.1 Généralités

Les dossiers indiquent que les 2 membres de l'équipage de conduite possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol, conformément à la réglementation en vigueur. C'était la 7e fois que le commandant de bord se rendait à TNCM, et la 2e fois pour le premier officier. Le commandant de bord et le premier officier n'avaient jamais volé ensemble auparavant.

Rien n'indique que la fatigue ou des facteurs physiologiques aient pu nuire au rendement du commandant de bord ou du premier officier.

1.5.1.1 Commandant

Le commandant de bord était au service de WestJet depuis près de 10 ans avant l'événement à l'étude. Le commandant de bord avait fait l'objet d'une vérification de compétence en

route[15] et suivi une formation sur simulateur en novembre 2016. Il avait achevé la formation annuelle et la formation sur la gestion des ressources de l'équipage en avril 2016.

1.5.1.2 Premier officier

Le premier officier travaillait pour WestJet depuis 7 ans avant l'événement à l'étude. Il avait fait l'objet d'une vérification de compétence en route en juin 2016 et suivi une formation sur simulateur en octobre 2016. Il avait également achevé la formation annuelle et la formation sur la gestion des ressources de l'équipage en 2016.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Généralités

Les dossiers indiquent que l'aéronef était certifié, équipé et entretenu conformément aux règlements en vigueur et aux procédures approuvées.

Le Boeing 737-800 est un biréacteur de transport de passagers à couloir unique et à fuselage étroit. Il est muni d'un système de trains d'atterrissage escamotables qui comprend 2 trains principaux et 1 train avant.

Tableau 2. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Boeing
Type-modèle, immatriculation	737-800, C-GWSV
Année de construction	2009
Numéro de série	37158
Date d'émission du certificat de navigabilité	20 mars 2009
Total d'heures de vol cellule	31 823
Type de moteur	CFM56-7B27
Masse maximale autorisée au décollage (kg)	79 016
Type de carburant utilisé	Jet A

1.6.2 Système d'avertissement de proximité du sol amélioré

L'aéronef est muni d'un EGPWS Honeywell Mark V, un type de système d'avertissement et d'alarme d'impact (TAWS) qui avertit les pilotes lorsque l'aéronef est en danger imminent d'impact sans perte de contrôle (CFIT). Ce système [traduction] « se sert des sollicitations des commandes de vol [combinées] avec des bases de données internes sur le relief, les obstacles et les pistes d'aéroports pour prédire un conflit potentiel entre la trajectoire de vol de

---

15 Une vérification de compétence en route est un contrôle de compétence pilote qui a lieu conformément à l'alinéa 705.106(1)*d*) du *Règlement de l'aviation canadien*. Elle a lieu après l'achèvement de l'entraînement en ligne et annuellement par la suite.

l'aéronef et le relief ou un obstacle[16] ». En cas de collision possible, l'EGPWS génère une alerte ou un avertissement visuel et sonore pour mettre en garde l'équipage de conduite.

Ce système comprend une fonction de seuil de marge de franchissement du relief (TCF)[17], que l'on utilise pour les approches de non-précision. Cette fonction se sert de l'altitude et de la distance radar de l'aéronef par rapport au centre de la piste la plus proche dans la base de données de l'EGPWS pour détecter toute descente de l'aéronef sous le TCF et avertir l'équipage de conduite, peu importe la configuration de l'aéronef. Lorsque l'aéronef s'approche du TCF, un voyant d'avertissement s'illumine, et l'équipage reçoit l'avertissement sonore « TOO LOW, TERRAIN » (trop bas, relief). Si l'aéronef ne s'éloigne pas du TCF, le voyant d'avertissement demeure illuminé, et le système répète l'avertissement sonore pour chaque diminution de 20 % de l'altitude radar[18].

Après l'événement, l'EGPWS de l'aéronef à l'étude a été retiré et envoyé au laboratoire du BST, où l'on en a extrait les données aux fins d'analyse. Ces données ont ensuite été envoyées au fabricant de l'EGPWS pour qu'il les décode. Six fichiers de données décodées ont été renvoyés au BST, dont 3 qui contenaient les données du vol à l'étude.

1.6.3 Système chasse-pluie

1.6.3.1 Essuie-glaces

Les Boeing de la série 737 sont munis d'essuie-glaces, qui constituent le système chasse-pluie certifié de l'aéronef pour réduire les effets de la pluie sur la visibilité vers l'avant. L'enquête n'a pas permis de déterminer si les essuie-glaces étaient en marche durant l'approche.

1.7 Renseignements météorologiques

1.7.1 Généralités

Le service météorologique de Sint Maarten est chargé d'effectuer et d'émettre des observations météorologiques horaires; en cas d'importants changements dans les conditions météorologiques, il doit produire des observations météorologiques spéciales.

1.7.2 Conditions météorologiques durant le vol

1.7.2.1 Avant le départ

Les documents d'autorisation de vol que l'équipage de conduite a reçus avant le départ contenaient tous les renseignements pertinents pour le vol, y compris les conditions météorologiques actuelles et prévues.

---

16 Honeywell International Inc., *Mark V and Mark VII EGPWS Pilot's Guide*, révision H (8 août 2011), p. 1.

17 La TCF est une aire géographique virtuelle, ou enveloppe, que calcule le système EGPWS. À l'intérieur de cette zone, l'aéronef se trouve dangereusement proche du relief.

18 Honeywell International Inc., *Mark V and Mark VII EGPWS Pilot's Guide*, révision H (8 août 2011), p. 28.

Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 9 h pour TNCM faisait état des conditions suivantes :

- vents du 60 °V à 12 nœuds;
- visibilité maximale;
- nuages épars à 1800 pieds et quelques cumulus bourgeonnants dans les environs de l'aéroport;
- température 25 °C, point de rosée 21 °C;
- altimètre 30,11 pouces de mercure (in. Hg);
- pluie récente, aucune condition météorologique significative.

Les prévisions d'aérodrome (TAF) pour TNCM pour la période d'arrivée, émises à 7 h 43, faisaient état des conditions suivantes :

- vents du 070 °V à 16 nœuds;
- visibilité supérieure à 6 milles terrestres (sm);
- légères averses de pluie;
- quelques nuages à 1800 pieds, nuages épars à 2200 pieds, et une autre couche de nuages épars à 3000 pieds.

1.7.2.2 En route

En route, l'équipage de conduite a reçu des renseignements météorologiques mis à jour par l'intermédiaire du système embarqué de communications, d'adressage et de compte rendu (ACARS)[19]. Fondée sur un METAR pour TNCM émis à 14 h, cette mise à jour indiquait les conditions suivantes :

- vents du 050 °V à 16 nœuds;
- visibilité maximale;
- quelques nuages à 1400 pieds avec quelques cumulus bourgeonnants, et une couche de nuages fragmentés à 1800 pieds;
- température 25 °C, point de rosée 21 °C;
- altimètre 30,09 in. Hg;
- aucune condition météorologique significative.

---

[19] Le système embarqué de communications, d'adressage et de compte rendu (ACARS) est un système de communications air-sol qu'utilisent les exploitants aériens pour communiquer des données aux équipages de conduite durant le vol. Ces données sont reçues et imprimées dans le poste de pilotage.

1.7.2.3 Avant l'approche

Avant d'amorcer l'approche pour atterrir sur la piste 10, l'équipage de conduite a reçu le message ATIS Mike, émis à 15 h 01, qui faisait état des conditions suivantes :

- vents du 060 °M à 18 nœuds;
- visibilité maximale;
- quelques nuages à 1400 pieds et plafond de nuages fragmentés à 3500 pieds.

1.7.2.4 Approche

L'équipage de conduite a observé des nuages et des averses de pluie à proximité de l'aéroport durant l'approche de sa destination. À mesure que progressait l'approche, les averses de pluie ont balayé le secteur de l'aéroport, ce qui a considérablement réduit la visibilité.

Durant l'approche, un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI)[20] émis à 15 h 25 faisait état d'une visibilité réduite à 2000 m et de légères averses de pluie à l'aéroport. L'émission du message ATIS November, qui reflétait ces nouvelles conditions, a suivi 1 minute plus tard. Le contrôleur n'a pas informé l'équipage de conduite de la visibilité réduite, mais l'a informé des averses de pluie de modérées à fortes à l'aéroport.

1.7.2.5 Après l'approche interrompue

À 16 h, le message ATIS Oscar pour TNCM faisait état des conditions suivantes :

- vents du 060 °M à 15 nœuds;
- visibilité 2000 m dans de légères averses de pluie;
- quelques nuages à 1600 pieds et couvert nuageux à 3500 pieds;
- température 22 °C;
- point de rosée 22 °C;
- altimètre 30,09 in. Hg.

1.8 Aides à la navigation

Les aides à la navigation à TNCM comprennent un radiophare non directionnel et un radiophare omnidirectionnel VHF (VOR) ainsi que l'équipement de mesure de distance connexe. La piste 10 est desservie par une approche RNAV (GNSS) et une approche VOR.

L'aéronef était muni des aides à la navigation appropriées pour effectuer une approche RNAV (GNSS), et aucune panne n'a été signalée relativement à ces aides au moment où l'aéronef approchait de TNCM.

---

[20] On émet un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI) lorsque l'on observe des conditions météorologiques qui sont significatives pour l'aviation.

1.9 Communications

On n'a relevé aucune anomalie dans la qualité des transmissions radio durant le vol.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Généralités

TNCM possède 1 piste asphaltée (piste 10/28), qui mesure 7546 pieds de long sur 148 pieds de large. L'orientation de la piste 10 est de 96 °M; son seuil est décalé de 98 pieds, et l'élévation de sa zone de poser est de 12 pieds ASL.

La piste 10/28 est munie d'un balisage lumineux de piste de moyenne intensité, qui comprend des feux de seuil de piste verts, des feux d'extrémité de piste rouges, et des feux de bord de piste blancs.

La piste 10 n'est pas munie de feux d'approche, mais elle comprend un PAPI, qui consiste en une barre de flanc avec 4 feux et qui est « conçu de façon à fournir une indication visuelle de la pente d'approche souhaitée vers une piste (généralement de 3°)[21] ». À TNCM, le PAPI indique un angle de descente de 3°, et ses feux sont situés de part et d'autre de la piste[22].

1.10.2 Intensité du balisage d'aérodrome

Dans ses *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* (PANS-ATM), l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) stipule ce qui suit concernant le balisage lumineux d'aérodrome :

> Aux aérodromes où sont installés des feux à intensité variable, il conviendrait de dresser un tableau des réglages d'intensité en fonction des conditions de visibilité et de la luminosité ambiante, à l'intention des contrôleurs de la circulation aérienne, pour leur indiquer comment adapter l'intensité de ces feux aux conditions météorologiques du moment. Si un aéronef le demande, il sera procédé, chaque fois que cela est possible, à un nouveau réglage[23].

Cependant, le manuel des procédures d'exploitation normalisées des services de la circulation aérienne à l'aéroport international Princess Juliana[24] ne comprend aucune ligne directrice à l'intention des contrôleurs à TNCM concernant le réglage de l'intensité du

---

21 Transports Canada, TP 14371, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC), AGA – Aérodromes (12 octobre 2017), article 7.6.1.

22 Dutch Caribbean Air Navigation Service Provider (DC-ANSP), Aeronautical Information Publication (AIP) of Curaçao, Aruba, Sint Maarten, Bonaire, Saba and St. Eustatius (prise d'effet le 30 mars 2017), partie 3 : Aerodromes (AD), article 2.14.

23 Organisation de l'aviation civile internationale, *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* (PANS-ATM), Doc 4444, seizième édition (10 novembre 2016), article 7.15.2.3.

24 Princess Juliana International Airport Air Traffic Services (ATS), *Standard Operating Procedures Manual* (octobre 2016), partie 3, chapitre 2, p. 97.

balisage lumineux de piste ou des feux PAPI. L'utilisation du balisage lumineux à TNCM, y compris le réglage de son intensité, est à la discrétion du contrôleur. À titre comparatif, les contrôleurs de la circulation aérienne au Canada reçoivent des lignes directrices concernant l'utilisation du balisage lumineux d'aérodrome et indiquant quand ils doivent utiliser des réglages d'intensité particuliers en fonction de la visibilité signalée[25].

1.11 Enregistreurs de bord

L'aéronef était doté d'un enregistreur numérique de données de vol (DFDR) et d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR). Comme WestJet avait d'abord déterminé qu'il s'agissait d'un événement à déclaration non obligatoire, la compagnie ne l'a pas déclaré directement au BST. Les données du CVR et du DFDR ont été écrasées, et les enquêteurs n'ont pas pu les examiner.

Le fichier de données de l'enregistreur à accès rapide (QAR) a été envoyé au laboratoire du BST pour y être analysé. Le bloc d'acquisition et de gestion des données de vol enregistre les données du QAR de l'aéronef, qui sont stockées sur une carte PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) aux fins de suivi des données de vol (SDV). Les données stockées sur la carte sont une copie exacte des données enregistrées par le DFDR. Le DFDR est protégé contre les impacts, mais pas le QAR; ce dernier contient habituellement beaucoup plus d'heures de données.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Sans objet.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

---

25 NAV CANADA, *Manuel des services de la circulation aérienne – Services de contrôle – Tour de contrôle*, Balisage lumineux d'aérodrome – Réglages d'intensité (31 août 2016), p. 90.

1.16 Essais et recherche

1.16.1 Séance sur simulateur

Le 26 juillet 2017, le BST a mené une séance dans un des 3 simulateurs de vol B737-700 de WestJet à Calgary (Alberta). WestJet utilise ce simulateur de vol complet de niveau D certifié par Transports Canada (TC) pour former les équipages de conduite de ses B737-800[26]. Cette séance avait pour but d'évaluer l'approche du WJA2652 dans des conditions météorologiques virtuelles similaires tout en permettant aux enquêteurs du BST de se familiariser avec les procédures d'exploitation d'un B737; avec le fonctionnement du pilote automatique, du directeur de vol et des systèmes de navigation; et avec l'interface utilisateur de chacun de ces composants.

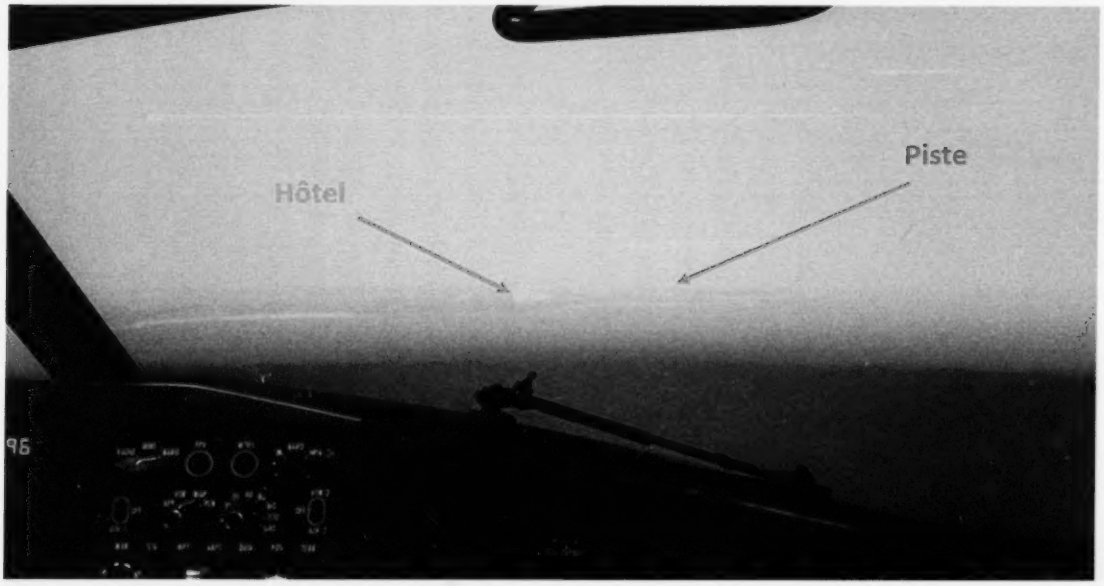
Le simulateur n'a pas permis de reproduire exactement toutes les conditions visuelles au moment de l'événement, comme l'effet de la pluie sur le pare-brise. Toutefois, l'exercice a permis d'établir l'importante baisse de perceptibilité visuelle des environs de la piste lorsque la visibilité diminuait à moins de 2000 m. Il a également mis en lumière la nécessité de régler le balisage lumineux de piste et les feux PAPI à une intensité élevée pour délimiter clairement les bords de la piste dans des conditions de visibilité réduite.

Grâce à une série d'approches réalisées sur le simulateur, on a évalué les repères visuels qui s'offraient à l'équipage de conduite, en commençant à environ 1000 pieds AGL jusqu'à la hauteur à laquelle l'équipage de conduite a remis les gaz, soit 40 pieds AGL. Ces évaluations ont montré que, même si la forme de l'hôtel à gauche de la piste (figure 3) était différente de celle de la piste elle-même, ses caractéristiques géométriques perceptibles changeaient (comme c'est le cas pour la plupart des repères visuels) selon l'angle d'approche et la distance de l'aéronef. De loin, l'hôtel paraissait plus large à sa base et plus étroit au sommet, présentant un aspect semblable à celui d'une piste d'atterrissage. À mesure qu'approchait l'aéronef, toutefois, sa forme se précisait pour révéler un immeuble.

---

[26] WestJet utilise le simulateur B737-700 pour former ses pilotes qui commandent ses Boeing de la série 737. On peut modifier des réglages dans le simulateur pour reproduire la performance du modèle approprié.

Figure 3. Repères visuels tels qu'ils se présentent dans un simulateur de vol à environ 500 pieds AGL par visibilité réduite



1.16.2 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit les rapports de laboratoire suivants dans le cadre de la présente enquête :

- LP074/2017 – EGPWS Download [téléchargement des données de l'EGPWS]
- LP124/2017 – Analysis of Maintenance Records [analyse des dossiers de maintenance]
- LP054/2017 – QAR Data Analysis [analyse des données QAR]

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

1.17.1 Généralités

WestJet est un exploitant aérien canadien certifié pour mener des opérations aériennes assujetties à la sous-partie 705 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC). L'entreprise est également un organisme de maintenance agréé assujetti à la sous-partie 573 du RAC et un organisme de formation au pilotage approuvé par TC.

Sa flotte comprend 104 Boeing 737 des séries 600, 700 et 800, et 4 Boeing 767. WestJet dispose également de 3 simulateurs de vol B737-700 pour la formation des pilotes, à Calgary. La formation initiale et périodique a lieu au siège social de la compagnie à Calgary.

1.17.2 Système de gestion de la sécurité

WestJet surveille et gère les risques opérationnels au moyen d'un système de gestion de la sécurité (SGS) approuvé par TC qui comprend les éléments suivants :

- des politiques, des procédures et une formation normalisées

- une politique non punitive applicable à la remise des gaz
- un système de signalement des dangers et risques
- le suivi des données de vol (SDV)
- des enquêteurs en sécurité
- des mises à jour périodiques des politiques, des procédures et de la formation

Ensemble, ces éléments génèrent une boucle de rétroaction : les équipages de conduite signalent des dangers opérationnels, ou des profils de vol dangereux sont repérés grâce au SDV, puis le personnel responsable de la sécurité aérienne fait un suivi des problèmes de sécurité, qui sont atténués en conséquence. En plus des éléments du SGS indiqués ci-dessus, WestJet émet des bulletins de sécurité et d'autres communications de sécurité internes pour tenir les équipages de conduite au courant des changements aux politiques et aux procédures liés à la sécurité.

1.17.3 Programme de surveillance des données de vol de WestJet

WestJet emploie des outils comme le SDV, un programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes, des procédures d'exploitation normalisées (SOP) explicites et une politique non punitive applicable à la remise des gaz pour cerner et atténuer les risques pour la sécurité.

Le programme de SDV de WestJet vise 100 % de ses vols réguliers; toutefois, en raison de la nature du système de surveillance et des processus de récupération des données, il arrive à l'occasion que des données soient écrasées, par inadvertance ou à cause de problèmes de logiciel. Par conséquent, la proportion réelle des vols qui font l'objet d'une surveillance varie, et le taux de surveillance visé de 100 % n'est pas atteint. Les données de vol provenant de ces vols réguliers sont téléchargées et vérifiées, et quand survient un cas où certains paramètres de vol sont dépassés, le programme le consigne en tant qu'événement. La configuration incorrecte d'un aéronef et le dépassement des paramètres pour la vitesse anémométrique et le taux de descente font partie des nombreux paramètres d'aéronef que surveille le SDV durant chaque vol.

Il est largement reconnu que le fait pour les exploitants aériens d'élaborer et de respecter des critères d'approche stabilisée constitue une importante stratégie pour réduire les accidents à l'approche et à l'atterrissage[27]. WestJet a surveillé et géré les critères d'approche non stabilisée et les dépassements en matière de proximité du sol. D'après les critères d'approche stabilisée de la compagnie, toute approche doit être stable à 1000 pieds au-dessus de

---

[27] Flight Safety Foundation, « FSF ALAR Briefing Note 7.1 – Stabilized Approach », dans : *Reducing the Risk of Runway Excursions: Report of the Runway Safety Initiative* (mai 2009), p. 133 à 138.

l'altitude d'aérodrome[28]. D'après le *Flight Operations Manual* [manuel d'exploitation de vol] de WestJet [traduction] :

- Une approche stabilisée est définie comme suit :
  - aéronef en configuration d'atterrissage finale;
  - réglage de puissance approprié à la configuration de l'aéronef;
  - vitesse indiquée ne dépassant pas la vitesse cible + 20 nœuds et tendant vers la vitesse cible; et
  - pente réelle ou alignement de descente hypothétique de 3° sur l'alignement de descente.
- On devrait éviter les taux de descente supérieurs à 1000 pi/min.
- Toute tendance à passer sous la trajectoire de descente prévue à l'approche du seuil de piste est à éviter.
- Si l'approche n'est pas stabilisée à une altitude de 1000 pieds au-dessus de l'altitude d'aérodrome ou si elle devient instable sous 1000 pieds, il faut remettre les gaz[29].

Étant donné que certaines des approches qu'utilise WestJet exigent un taux de descente de 1000 pi/min ou plus, le programme de SDV est réglé de manière à consigner uniquement les taux de descente qui dépassent 1300 pi/min pendant plus de 2 secondes.

Si, durant une approche, un aéronef dépasse un ou l'autre des paramètres surveillés, le programme de SDV désigne l'événement en tant qu'approche non stabilisée, et WestJet utilise ces données pour compiler des statistiques sur les approches non stabilisées et les remises des gaz. En 2016, 1596 approches non stabilisées ont été consignées, ce qui correspond à 0,86 % de toutes les approches effectuées par WestJet[30]. De celles-ci, 1452 (environ 91 %) se sont poursuivies jusqu'à l'atterrissage, et 144 (environ 9 %) ont mené à une remise des gaz.

On a noté un dépassement du taux de descente dans la majorité des 1596 approches non stabilisées effectuées par WestJet en 2016; dans 609 cas, l'aéronef a dépassé le taux de 1300 pi/min pendant plus de 2 secondes, entre 1000 pieds AGL et 500 pieds AGL.

Des pilotes de ligne désignés évaluent les dépassements consignés par le programme de SDV pour déterminer lesquels doivent faire l'objet d'une enquête plus approfondie. Tous les dépassements ne donnent pas lieu à des observations à l'équipage de conduite, à une enquête ou à des mises à jour à la formation ou aux procédures. Puisque le programme de SDV de WestJet surveille les alertes d'EGPWS, celle qui a été déclenchée au cours de l'approche du WJA2652 a été consignée, au moment de son déclenchement, à 63 pieds AGL.

---

28 WestJet, *Flight Operations Manual – Boeing B737NG*, volume 1, révision 027 (19 janvier 2017), article 4.13.17, p. 4-72.

29 *Ibid.*

30 WestJet a effectué 185 581 approches en 2016.

1.17.4 Procédures de WestJet

1.17.4.1 Rôle du pilote surveillant

Dans son *Company Operations Manual* [manuel d'exploitation de la compagnie], WestJet donne aux équipages de conduite des lignes directrices sur les responsabilités générales selon la phase du vol pour des procédures normales (tableau 3).

Tableau 3. Responsabilités générales selon la phase du vol (procédures normales) (Source : WestJet, *Company Operations Manual*, révision 047 (31 janvier 2017), article 10.1.3)

Pilote aux commandes (PF)	Pilote qui n'est pas aux commandes (PNF)*
• Contrôle de la trajectoire de vol et de la vitesse anémométrique • Configuration de l'aéronef • Navigation	• Surveillance du suivi de la trajectoire de vol par l'aéronef • Lecture des listes de vérification • Communications • Tâches demandées par le PF • Commandes de démarrage et commutateurs d'extincteurs (avec l'accord du PF)

* À WestJet, on utilise l'expression « pilot not flying » (pilote qui n'est pas aux commandes) (PNF) pour désigner le pilote surveillant (PM).

Le manuel d'exploitation de WestJet souligne, dans une section qui porte sur les conditions météorologiques défavorables, l'importance de la coordination et de la conscience situationnelle des équipages de conduite en exigeant qu'ils [traduction] :

> [s]urveillent attentivement les instruments de trajectoire de vol verticale, comme les altimètres et les indicateurs de vitesse verticale et de déviation par rapport à l'alignement de descente. Le pilote qui n'est pas aux commandes doit annoncer tout écart par rapport à la normale[31].

1.17.4.2 Alertes du système d'avertissement de proximité du sol amélioré et procédures de rétablissement

Quand on a commencé à utiliser les avertisseurs de proximité du sol (GPWS) dans le secteur de l'aviation, les « alertes injustifiées[32] » étaient courantes. Pour limiter les remises des gaz inutiles causées par des alertes injustifiées durant des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) de jour, les avionneurs ont recommandé des procédures où les pilotes évaluent visuellement le danger de proximité au relief qui a déclenché l'alerte avant de décider de la marche à suivre, et les exploitants ont adopté de telles procédures. Toutefois, les progrès de la technologie GPWS ont réduit la fréquence des alertes injustifiées.

---

31 WestJet, *Flight Operations Manual – Boeing B737NG*, volume 1, révision 027 (19 janvier 2017), article 5.14.12.4, p. 5-116.

32 Le terme « alerte injustifiée » signifie une alerte visuelle ou sonore qui n'est pas nécessaire ou pas utile, mais qui exige du pilote qu'il décide s'il doit y réagir ou non.

Au cours de la dernière décennie, le SGS de WestJet n'a signalé que 29 alertes EGPWS de proximité au relief : 25 dans des conditions VMC de jour, et 4 dans des conditions VMC de nuit. Un tiers de ces alertes ont eu lieu au même aéroport au cours de la même année.

Les équipages de conduite de WestJet doivent suivre la procédure suivante en réponse aux alertes d'avertissement d'EGPWS [traduction] :

> Corriger la trajectoire de vol de l'aéronef, sa configuration ou sa vitesse anémométrique. [...]
>
> **Remarque :** Si un avertissement de proximité au relief se fait entendre durant un vol dans des conditions VMC de jour et qu'une vérification visuelle positive confirme qu'il n'y a ni obstacle ni proximité au relief, on peut considérer l'alerte comme n'étant qu'une mise en garde et poursuivre l'approche[33].

Cette procédure correspond à la recommandation de Boeing[34] selon laquelle, dans des conditions VMC de jour, les pilotes peuvent déterminer s'il y a bien proximité au sol ou à un obstacle avant de décider s'ils doivent corriger la trajectoire de vol ou poursuivre l'approche.

Honeywell, le fabricant de l'EGPWS, stipule ce qui suit dans son guide [traduction] :

> **Remarque :** La montée est l'unique mesure recommandée, à moins que le vol se déroule dans des conditions de vol à vue ou que le pilote ne détermine, à partir de tous les renseignements à sa disposition, que la marche à suivre la plus sécuritaire consiste en un virage en plus d'une montée. Suivre les procédures d'exploitation établies[35].

Honeywell recommande la réaction suivante en cas d'alerte d'avertissement :

1. Stopper toute descente et monter, au besoin, pour faire cesser l'alerte. Analyser tous les instruments et tous les renseignements disponibles pour déterminer la meilleure marche à suivre.
2. Informer l'ATC [contrôle de la circulation aérienne] de la situation au besoin[36].

Quoique les lignes directrices du fabricant de l'EGPWS ne l'emportent pas sur les manuels de Boeing et de WestJet, les exploitants peuvent imposer une procédure plus restrictive dans le cadre de leurs programmes approuvés[37].

---

33 WestJet, *737 Quick Reference Handbook*, révision 2 (16 novembre 2015), p. MAN 1.7.

34 Boeing, *737 Flight Crew Operations Manual* (15 septembre 2016), p. MAN 1.5.

35 Honeywell International Inc., *Mark V and Mark VII EGPWS Pilot's Guide*, révision H (8 août 2011), p. 55.

36 *Ibid.*

37 Transports Canada, *Normes de service aérien commercial*, paragraphe 725.137(6).

1.17.4.3 Qualification de route et d'aérodrome

WestJet produit un document de qualification de route et d'aérodrome, pour chaque aérodrome qu'elle dessert. Ce document fournit aux équipages de conduite des renseignements généraux au sujet de leur destination. Dans le cas de TNCM, ce document informe les équipages de conduite à propos des mises en garde, des minima d'approche et de départ selon les conditions météorologiques, et des procédures relatives au vol en route, à l'approche et à l'atterrissage, et au départ, qui sont propres à cet aérodrome. Les procédures d'arrivée décrites dans ce document stipulent, en partie [traduction] :

> MAP RNAV 10 situé à 2 nm du seuil de piste – s'assurer de débrayer le pilote automatique et de désactiver et réactiver le FD [directeur de vol] ou de le désactiver avant ce stade, sinon l'aéronef virera en LNAV [navigation latérale] à ONBED, et la poussée augmentera. Se tenir prêt à voir l'annonce du système automanette « **ARM** » [armer] à ce stade et surveiller attentivement la vitesse. **Il faut manipuler manuellement les manettes de poussée ou sélectionner « speed »**[38].

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Approches aux instruments à TNCM

Il y a 2 approches possibles à TNCM : VOR piste 10 et RNAV (GNSS) piste 10. Durant l'événement à l'étude, l'équipage de conduite a effectué l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10.

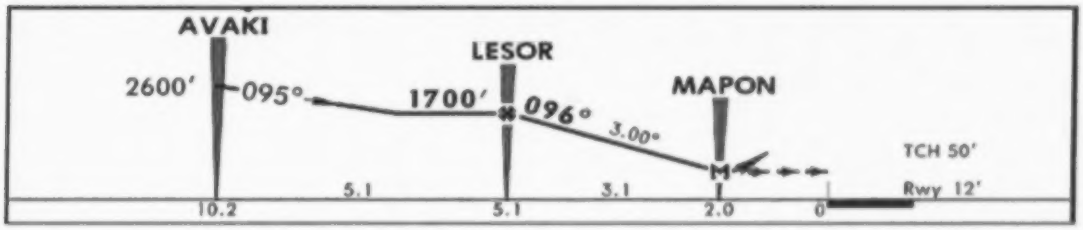
L'approche RNAV fournit aux équipages de conduite des renseignements de navigation latérale (LNAV) pour l'approche, à partir du repère du point de cheminement d'approche initiale jusqu'au MAP. L'équipage de conduite gère la trajectoire de vol verticale pour cette approche. Dans l'événement à l'étude, le FMS a assuré le guidage vertical jusqu'au MAP durant la trajectoire de rapprochement en approche finale. Étant donné la présence d'une montagne très près de la piste, le MAP se trouve à 2 nm (3704 m) avant le seuil de piste, et l'altitude minimale de descente (MDA) est à 700 pieds ASL (688 pieds AGL), pour répondre aux critères PANS-OPS[39] de franchissement d'obstacle en cas de remise des gaz. Ainsi, il y a un long segment de vol à vue au-delà du MAP, durant lequel l'équipage de conduite doit gérer la descente vers le seuil de piste jusqu'à l'atterrissage (figure 4). Il est rare que les pilotes de WestJet doivent effectuer en vol à vue de longs segments d'une approche faite selon les règles de vol aux instruments (IFR), comme c'est le cas pour l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10 à TNCM. Plus rares encore sont les longs segments en vol à vue au-dessus de l'eau et dans les conditions météorologiques rencontrées durant l'approche à l'étude.

---

[38] WestJet, *Route & Aerodrome Qualification*, Princess Juliana International, Sint Maarten, Netherlands Antilles, TNCM/SXM (9 novembre 2015), p. 2.

[39] Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Doc 8168, Procédures pour les services de navigation aérienne : Exploitation technique des aéronefs (PANS-OPS), volume II, *Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments*, sixième édition (2014).

Figure 4. Profil de descente de l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10 de l'aéroport international Princess Juliana (Source : Jeppesen Sanderson Inc., carte d'approche)



1.18.1.1 Visibilité minimale pour effectuer une approche à TNCM

Lorsqu'ils effectuent des vols à l'étranger, les exploitants aériens canadiens doivent se conformer aux lois, à la réglementation et aux procédures à la fois du Canada et de l'État étranger où se déroule le vol[40]. Les exigences en matière de visibilité minimale pour effectuer une approche qui sont contenues dans les *Sint Maarten Civil Aviation Regulations* (règlement d'aviation civile de Sint Maarten) sont plus restrictives que celles du RAC[41]. En effet, les *Sint Maarten Civil Aviation Regulations* stipulent qu'un aéronef ne peut pas poursuivre une approche au-delà du repère d'approche finale (FAF), à moins que la visibilité ne soit [traduction] « égale ou supérieure aux minima prescrits pour cette procédure[42] ».

Pour un aéronef de la catégorie du WJA2652, la visibilité minimale durant l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10 à TNCM est de 3600 m. La visibilité doit donc être d'au moins 3600 m pour qu'un aéronef puisse poursuivre l'approche au-delà du FAF (LESOR).

1.18.2 Références visuelles requises

Le RAC définit la référence visuelle requise ainsi :

> Dans le cas d'un aéronef qui effectue une approche vers une piste, la partie de l'aire d'approche de la piste ou les aides visuelles qui, vues par le pilote, lui permettent d'évaluer la position de l'aéronef et la vitesse de changement de position en vue de continuer l'approche et de compléter l'atterrissage[43].

D'après le *Canada Air Pilot* (CAP) [traduction] :

> Les références visuelles dont le pilote a besoin pour continuer l'approche et faire un atterrissage en toute sécurité devraient comprendre au moins une des références suivantes en rapport avec la piste utilisée, cette référence devant être distinctement visible et reconnaissable par le pilote :
>
> a) la piste ou les marques de piste;
> b) le seuil de piste ou les marques de seuil;

---

40 Gouvernement du Canada, L.R.C. (1985), ch. A-2, *Loi sur l'aéronautique*, articles 4 et 4.1.

41 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, article 705.48.

42 Sint Maarten Civil Aviation Authority, *Sint Maarten Civil Aviation Regulations*, partie 8 : Operations, article 8.8.4.13.

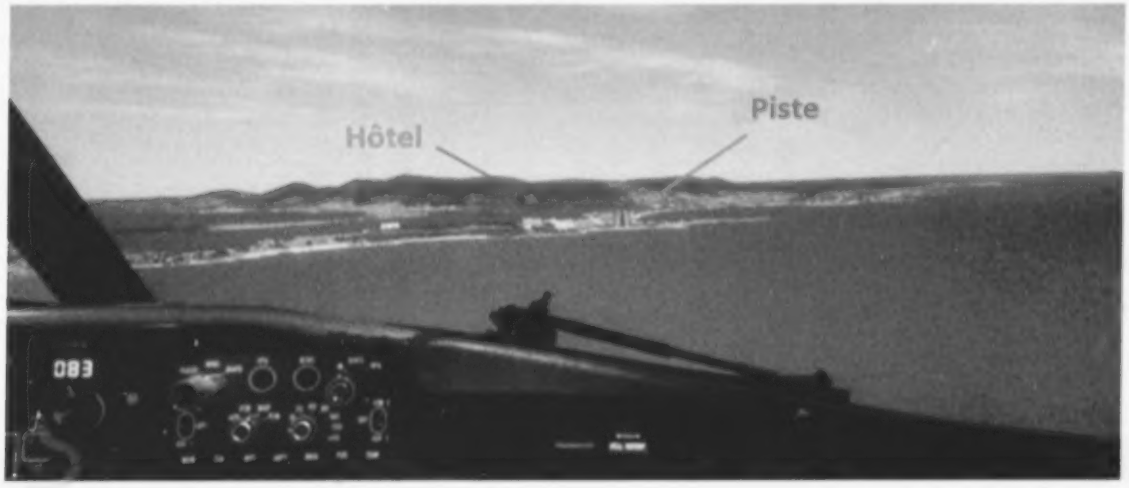
43 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, paragraphe 100.01(1).

c) la zone de poser des roues ou les marques de la zone de poser des roues;
d) les feux d'approche;
e) l'indicateur de pente d'approche;
f) les feux d'identification de piste;
g) les feux de seuil et de fin de piste;
h) les feux de zone de poser des roues;
i) les feux de bord de piste de chaque côté de la piste;
j) les feux d'axe de piste[44].

À TNCM, la trajectoire d'approche finale en rapprochement RNAV (GNSS) de la piste 10 survole l'océan et comprend un segment de vol à vue de 2 nm, du MAP jusqu'au seuil de piste, qui est adjacent au littoral (figure 5). Les références visuelles disponibles pour l'approche RNAV (GNSS) de la piste 10 comprennent :

- la piste et les marques de piste;
- le seuil de piste et les marques de seuil;
- la zone de poser des roues et les marques de la zone de poser des roues;
- l'indicateur de pente d'approche;
- les feux de seuil et de fin de piste;
- les feux de bord de piste de chaque côté de la piste.

Figure 5. Approche de la piste 10 à TNCM par ciel dégagé, vue depuis un simulateur de vol



44 NAV CANADA, *Canada Air Pilot* – Instrument Procedures – General Pages (CAP GEN) (en vigueur du 2 mars 2017 au 27 avril 2017), p. 11.

1.18.3 Conscience situationnelle

1.18.3.1 Généralités

La conscience situationnelle est le produit de [traduction]

> l'extraction continue des renseignements sur l'environnement, de leur intégration aux connaissances existantes afin de former un modèle mental cohérent, et de l'utilisation de ce modèle mental pour diriger la perception et anticiper les événements futurs[45].

À chacune de ces 3 étapes – perception, compréhension et projection –, les pilotes doivent traiter ces renseignements sans faille pour maintenir une conscience situationnelle exacte. Durant une approche et un atterrissage, par exemple, l'équipage de conduite doit percevoir les références visuelles pertinentes, comprendre ce qu'elles signifient dans le contexte de l'exécution d'une approche, et prévoir en quoi ces renseignements influeront sur le profil d'approche. S'il y a une erreur dans la perception initiale d'éléments cruciaux dans l'environnement, le pilote pourrait mal comprendre le contexte et les dangers connexes.

1.18.3.2 Erreurs dans l'acquisition des références visuelles

La perceptibilité cognitive est le degré d'importance et de pertinence que revêt un objet ou une notion pour une personne dans son contexte[46]. Par exemple, lorsqu'ils exécutent une approche visuelle, les pilotes balaient l'horizon du regard pour repérer toute référence qui ressemble aux indices de piste ou de seuil nécessaires pour poursuivre l'approche. S'il y a des éléments visuels qui, étant partiellement visibles, peuvent ressembler aux indices recherchés, un pilote pourrait s'orienter sur ces éléments plutôt que sur la piste ou le seuil. La tendance à l'anticipation pourrait également être un facteur dans de telles erreurs. Les pilotes s'attendent à voir des indices de piste ou de seuil là où ils prévoient que se trouvera la piste ou le seuil. Lorsque des éléments d'information confirment leurs attentes, ils ont tendance à réagir automatiquement et à immédiatement amorcer la séquence de gestes associés à cette information.

Le fait de se fixer sans le savoir sur une fausse référence visuelle correspond à une erreur à la première étape du développement de la conscience situationnelle (perception). Une erreur non corrigée à cette étape mènera à des erreurs aux 2 étapes suivantes (compréhension et projection) – dans ce cas-ci, la capacité du pilote d'évaluer correctement la position verticale et la vitesse de changement de position de l'aéronef par rapport aux environs de la piste. Les conséquences, d'après la Flight Safety Foundation (FSF), pourraient inclure [traduction] « une modification inconsciente de la trajectoire de l'aéronef de manière à maintenir une

---

[45] C. Dominguez, « Can SA be defined? », dans : M. Vidulich, E. Vogel, et coll., AL/CF-TR-1994-0085, Situation awareness: Papers and annotated bibliography (Armstrong Laboratory, 1994), section I.

[46] P. A. Hancock, G. Wulf, D. Thom et P. Fassnacht, « Driver workload during differing driving maneuvers », *Accident Analysis & Prevention*, vol. 22, n° 3 (1990), p. 281 à 290.

perception constante des références visuelles[47] » ou une « tendance naturelle à descendre sous l'alignement de descente ou la trajectoire de descente initiale[48] ». Les pilotes doivent résister à la tendance à piquer ou à descendre trop tôt en raison d'une fausse perception de la hauteur. Pour la FSF, c'est là [traduction] « le plus grand défi durant le segment visuel d'une approche[49] ».

1.18.3.3 Perceptibilité sensorielle

La perceptibilité sensorielle d'une référence visuelle est la mesure dans laquelle ses caractéristiques pourraient retenir l'attention d'un pilote pendant qu'il effectue un balayage visuel. Les références visuelles qui ont une bonne perceptibilité sensorielle sont par exemple des concentrations de lumière, des objets qui contrastent nettement avec leur arrière-plan (luminosité, couleur ou texture) et les objets de très grandes dimensions[50].

S'ils sont réglés à la bonne intensité, le balisage lumineux de piste et les feux PAPI peuvent offrir le niveau de perceptibilité sensorielle requis pour servir de références visuelles. Par visibilité réduite et lorsque l'intensité lumineuse est trop faible pour contraster avec les environs de la piste, la perceptibilité de ces feux pourrait être insuffisante, surtout si la perceptibilité visuelle d'autres éléments dans les environs est plus grande.

Durant l'approche à l'étude, l'intensité du balisage lumineux de piste était faible; en outre, vu les conditions de précipitations durant les heures de clarté, la pluie a encore réduit la visibilité des feux d'approche[51], ce qui a diminué la perceptibilité des références visuelles de l'équipage de conduite. Inversement, l'hôtel qui se trouvait à gauche des environs de la piste était de grande taille, rectangulaire et d'un blanc éclatant, et donc contrastait beaucoup avec son arrière-plan.

1.18.3.4 Repères de validation

Les repères externes dans la vision vers l'avant et la vision périphérique aident un pilote à jauger la vitesse et la hauteur de l'aéronef. Ces repères peuvent inclure des couches de nuages ou des éléments au sol (p. ex., arbres, immeubles ou montagnes) qui défilent dans la vision périphérique du pilote. Durant un vol au-dessus de l'eau, de nuit ou dans des conditions atmosphériques comme la pluie, ces repères pourraient être absents ou invisibles.

---

47 Flight Safety Foundation, « FSF ALAR Briefing Note 5.3 – Visual Illusions », dans : *Flight Safety Digest* (août-novembre 2000), p. 107.

48 *Ibid.*

49 *Ibid.*

50 P. L. Olson, R. Dewar et E. Farber, « Vision, audition, vibration and processing of information », dans : *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, troisième édition (Tucson [Arizona] : Lawyers & Judges Publishing Company, 2010).

51 Flight Safety Foundation, « FSF ALAR Briefing Note 5.3 – Visual Illusions », dans : *Flight Safety Digest* (août-novembre 2000), p. 105.

Il y a alors une [traduction] « absence de texture visuelle et d'autres repères visuels qui offriraient une perception fiable de la hauteur[52] ».

1.18.3.5 Charge de travail et anticipation

Une charge de travail élevée peut influer négativement sur la capacité d'un pilote à percevoir et à évaluer les repères dans l'environnement.

Bien qu'un pilote alerte et à l'aise puisse facilement détecter les objets du coin de l'œil, l'imposition d'une charge de travail modérée, la fatigue ou le stress mènent à la vision en tunnel. En aviation, la charge de travail dans le poste de pilotage est probablement la cause la plus courante de rétrécissement du champ visuel[53].

Quand on se concentre sur une tâche centrale, comme la détection d'un repère particulier ou une discussion, la détection de stimuli périphériques devient plus difficile[54]. L'exécution d'une approche visuelle par visibilité réduite représente une tâche centrale qui entraîne une charge de travail élevée sur le plan perceptif.

De plus, les pilotes pourraient, intentionnellement ou non, porter leur attention vers un endroit où ils prévoient qu'il se passera quelque chose. Cette anticipation pourrait aggraver le rétrécissement du champ visuel du pilote.

1.18.4 Surveillance de la trajectoire de vol

D'après la FSF, les facteurs de causalité les plus courants dans les accidents à l'approche et à l'atterrissage comprennent :

- l'utilisation inadéquate des instruments pour appuyer le segment de vol à vue;
- le défaut de détecter la détérioration des références visuelles;
- l'omission de surveiller les instruments et la trajectoire de vol parce que les deux pilotes sont occupés à identifier des références visuelles[55].

En novembre 2014, à la suite d'une étude pour déterminer les facteurs qui mènent à une surveillance inadéquate de la trajectoire de vol, la FSF a publié 20 recommandations dans un guide intitulé *A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring*. Les limites humaines font

---

52 *Ibid.*, p. 287.

53 Australian Transport Safety Bureau (ATSB), Alan Hobbs, *Limitations of the See-and-Avoid Principle*, ATSB Transport Safety Report (avril 1991), chapitre 2.6.

54 H. W. Lebowitz et S. Apelle, « The Effect of a Central Task on Luminance Thresholds for Peripherally Presented Stimuli », *Human Factors*, vol. 11 (1969), p. 387 à 392, dans : Australian Transport Safety Bureau, *Limitations of the See-and-Avoid Principle, ATSB Transport Safety Report* (avril 1991), chapitre 2.6.

55 Flight Safety Foundation, « FSF ALAR Briefing Note 5.3 – Visual Illusions », dans : *Flight Safety Digest* (août-novembre 2000), p. 107.

partie des obstacles à la surveillance efficace de la trajectoire de vol que décrit ce guide [traduction] :

> des périodes alternantes de charge de travail élevée avec exécution simultanée de tâches multiples, et de faible charge de travail nécessitant néanmoins une vigilance soutenue conviennent mal au cerveau humain, qui peine à accomplir l'une comme l'autre. Ce qu'il faut, c'est un ensemble de politiques, de procédures, de conception de systèmes automatisés et de formation au pilotage qui appuie mieux la façon dont le cerveau traite l'information et qui aide les pilotes à surveiller efficacement toutes les phases de vol. La mise en œuvre des recommandations du présent guide permettrait de répondre à ce besoin[56].

D'après ce guide, pour réduire la probabilité d'erreurs visuelles et optimiser la conscience situationnelle, les équipages de conduite doivent maintenir une surveillance et une coordination efficaces, notamment [traduction] :

> en suivant toujours les SOP; en communiquant clairement tout écart aux autres membres d'équipage; en gérant rigoureusement les distractions; en demeurant vigilants; [...] [et] en rétablissant méthodiquement la conscience situationnelle de la trajectoire de vol après l'achèvement de tâches non liées au vol [...][57].

En particulier, le PM devrait surveiller continuellement les instruments, comme l'indicateur de vitesse verticale instantanée et l'altimètre, et contre-vérifier leurs données par rapport à des références extérieures. Les annonces d'altitude et d'écart excessif par rapport aux paramètres devraient être les mêmes pour les approches visuelles et aux instruments.

1.18.5 Gestion des menaces et des erreurs

Le modèle de gestion des menaces et des erreurs (TEM) est un cadre conceptuel :

- que l'on emploie pour décrire la façon dont les équipages de conduite gèrent les situations qui accroissent les risques associés au vol;
- que l'on utilise comme outil pour analyser l'évolution de situations qui ont mené à un événement;
- qui examine les principaux éléments des menaces, des erreurs et des états indésirables des aéronefs;
- qui décrit les contre-mesures qui se sont révélées efficaces pour gérer ces éléments[58].

Les menaces sont des conditions sur lesquelles les équipages de conduite n'exercent aucun contrôle et qui accroissent le risque d'incident ou d'accident. Elles peuvent comprendre des menaces environnementales, comme des conditions météorologiques défavorables ou la

---

56 Flight Safety Foundation, « A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring: Final Report of the Active Pilot Monitoring Working Group » (novembre 2014), p. 13.

57 *Ibid.*, p. 4.

58 D. Maurino, « Threat and Error Management », document présenté lors du Séminaire sur la sécurité aérienne au Canada (SSAC), Vancouver (Colombie-Britannique) (18 au 20 avril 2005).

contamination de la piste, ou des menaces opérationnelles, comme les autorisations du contrôle de la circulation aérienne qui présentent des défis. Elles peuvent mener à des erreurs de la part de l'équipage de conduite et à des états indésirables des aéronefs, faisant qu'un aéronef se trouve dans un état de risque accru. Toutefois, les menaces peuvent n'avoir que peu de conséquences si elles sont reconnues et activement gérées.

Les erreurs sont des actions ou inactions de la part d'un équipage qui mènent à des écarts par rapport aux attentes de l'organisation ou de l'équipage :

- erreurs de pilotage, telles que l'utilisation incorrecte des dispositifs d'automatisation;
- erreurs de procédure, comme exécuter des listes de vérification de mémoire ou omettre des exposés;
- erreurs de communication, comme des annonces ratées ou une mauvaise relecture des consignes du contrôle de la circulation aérienne.

Les erreurs peuvent découler de la mauvaise gestion d'une menace ou se produire spontanément. La gestion efficace des erreurs comprend à la fois la détection et la réaction.

Les principes clés de la TEM sont l'anticipation, la reconnaissance et la correction des menaces et des erreurs[59]. La TEM préconise l'analyse attentive des dangers potentiels et la prise des mesures qui s'imposent pour éviter, limiter ou atténuer les menaces et les erreurs avant qu'elles ne mènent à un état défavorable de l'aéronef.

1.18.5.1 Formation sur la gestion des menaces et des erreurs

En 2007, le BST a enquêté[60] sur une collision avec le relief à Sandy Bay (Saskatchewan). L'enquête a déterminé qu'une gestion des ressources de l'équipage (CRM) inefficace avait été un facteur contributif à cet accident. L'enquête a également permis de déterminer que certains exploitants ne sont pas portés à offrir une formation CRM, étant donné l'absence d'exigence réglementaire à cet égard, et que par conséquent, certains pilotes professionnels pourraient être mal préparés à éviter, à limiter ou à atténuer les erreurs de l'équipage de conduite durant un vol. Étant donné les risques associés à l'absence de formation CRM récente pour des équipages qui mènent des activités assujetties aux sous-parties 703 (taxi aérien) et 704 (service aérien de navette) du RAC, le Bureau a recommandé que :

> le ministère des Transports oblige les exploitants aériens commerciaux à dispenser une formation en gestion des ressources de l'équipage (CRM) aux pilotes d'un taxi aérien relevant du RAC 703 ou d'un service aérien de navette relevant du RAC 704.
>
> **Recommandation A09-02 du BST**

---

[59] A. Merritt et J. Klinect, « Defensive Flying for Pilots: An Introduction to Threat and Error Management », The University of Texas Human Factors Research Project: The LOSA Collaborative (Austin [Texas] : 2006), p. 16.

[60] Rapport d'enquête aéronautique A07C0001 du BST.

TC définit une CRM actualisée comme étant une méthode qui :

> intègre le développement de compétences techniques à la formation sur les communications et la coordination entre les membres de l'équipage, et [...] en appliquant des concepts de gestion des menaces et des erreurs[61].

En 2011, le BST a enquêté[62] sur un impact sans perte de contrôle d'un Boeing 737 à Resolute Bay (Nunavut). On a déterminé que durant l'approche finale, la CRM de l'équipage de conduite avait été inefficace. Durant cette enquête, un groupe de discussion composé de représentants de TC et de l'industrie avait déjà entrepris des travaux pour répondre à la recommandation A09-02 du BST. Ce groupe de discussion avait demandé que TC élabore une réglementation et des normes en matière de formation CRM actualisée[63] pour les exploitants assujettis aux sous-parties 702 (opérations de travail aérien), 703 (taxi aérien), 704 (service aérien de navette) et 705 (entreprise de transport aérien) du RAC. TC avait accepté la recommandation du groupe, mais comme les détails de la réglementation et des normes mises à jour pour la formation sur la CRM étaient toujours inconnus au moment de la publication du rapport, le Bureau avait exprimé la préoccupation suivante liée à la sécurité :

> [L]e Bureau craint que, sans une approche exhaustive et intégrée à l'égard de la CRM de la part de TC et des exploitants de transport aérien, il se peut que les équipages de conduite ne mettent pas systématiquement en pratique une CRM efficace.

Dans sa réponse de décembre 2017 à la recommandation A09-02, TC a fait savoir que de nouvelles normes de CRM entreront en vigueur le 31 janvier 2019, intégrées aux sous-parties 722, 723, 724 et 725 des *Normes de service aérien commercial* (NSAC), et qu'elles s'appliqueront aux sous-parties 702 (opérations de travail aérien), 703 (taxi aérien), 704 (service aérien de navette) et 705 (entreprise de transport aérien) du RAC. Les nouvelles normes obligeront les transporteurs aériens à fournir une formation initiale et annuelle actualisée sur la CRM aux équipages de conduite, aux agents de bord, aux régulateurs de vols/préposés au suivi des vols, aux équipes au sol et au personnel de maintenance.

Ces nouvelles normes de formation actualisée sur la CRM intégreront les concepts de gestion des menaces et des erreurs pour les transporteurs aériens commerciaux. Pour valider les compétences en CRM, les nouvelles normes exigent également une évaluation des habiletés non techniques, telles que la coopération, la direction d'équipe, la gestion, la conscience de la situation et la prise de décisions. La formation permettra d'acquérir des connaissances et des compétences qui pourront aider les équipages de conduite à reconnaître les risques, comme ceux associés aux approches dans des conditions météorologiques qui se dégradent.

---

61 Transports Canada, Circulaire d'information (CI) 700-042, Gestion des ressources de l'équipage (CRM).

62 Rapport d'enquête aéronautique A11H0002 du BST.

63 Transports Canada, Circulaire d'information (CI) 700-042, Gestion des ressources de l'équipage (CRM) (1er janvier 2019).

Les nouvelles normes de CRM ont été publiées sur le site Web du Système de rapport des activités du Conseil consultatif sur la réglementation aérienne canadienne (CCRAC). De plus, TC a publié la Circulaire d'information 700-042, qui fournit aux intervenants du secteur des lignes directrices sur les nouvelles normes, ainsi qu'un article dans le numéro 4/2017 du bulletin *Sécurité aérienne – Nouvelles*, à propos de la nécessité pour les transporteurs aériens commerciaux de se préparer à l'entrée en vigueur des nouvelles normes de CRM.

Le Bureau est d'avis que les mesures prises par TC réduiront considérablement les risques liés à la lacune de sécurité soulignée dans la recommandation A09-02, une fois que les nouvelles normes de CRM seront en vigueur.

Par conséquent, le BST a estimé que la réponse à la recommandation A09-02 dénote une **attention entièrement satisfaisante**.

Un examen de la formation donnée par WestJet a confirmé que son programme de formation sur la CRM comprend le contenu CRM requis à l'heure actuelle d'après le paragraphe 725.124(39) des NSAC. Même si WestJet se sert du concept de TEM dans son entraînement sur simulateur, le programme de formation au sol ne comprend qu'un aperçu général de la théorie de la TEM.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2.0 *Analyse*

2.1 *Introduction*

L'aéronef était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées, et aucune anomalie mécanique qui aurait pu contribuer à l'événement n'a été relevée. L'équipage de conduite possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur, et rien n'indique que des facteurs physiologiques comme la fatigue aient atténué les capacités de l'équipage de conduite.

Afin de comprendre pourquoi l'aéronef a volé trop bas durant l'approche visuelle au-delà du point d'approche interrompue (MAP) MAPON avant la remise des gaz, l'analyse portera sur les renseignements météorologiques disponibles, ainsi que sur la visibilité, les références visuelles, le pilotage de l'aéronef, le balisage lumineux de l'aéroport et les facteurs humains.

Le 15 septembre 2017, l'île de Saint-Martin a été gravement endommagée par l'ouragan Irma; la communication avec la Sint Maarten Civil Aviation Authority (SMCAA) a été interrompue. Par conséquent, les enquêteurs n'ont pas pu obtenir certains renseignements du service local de contrôle de la circulation aérienne.

2.2 *Visibilité*

Avant que le vol 2652 de WestJet (WJA2652) n'amorce sa descente vers l'aéroport international Princess Juliana (TNCM), la visibilité dans les environs était maximale. Toutefois, lorsque l'aéronef était à environ 15 milles marins (nm) du seuil de la piste, la visibilité à l'aéroport s'est considérablement dégradée, diminuant à 2000 m dans des averses de pluie de modérées à fortes. Le message November du service automatique d'information de région terminale (ATIS) avait été émis quelque 3 minutes avant que ne soit autorisée l'approche. Durant cette phase de vol, les équipages de conduite ne sont pas au courant des changements aux messages ATIS, à moins qu'ils n'en soient informés par le contrôleur.

Une visibilité minimale de 3600 m est requise afin de poursuivre une approche à TNCM au-delà du repère d'approche finale. Le contrôleur de la circulation aérienne a autorisé l'équipage de conduite à effectuer l'approche RNAV de la piste 10 lorsque l'aéronef se trouvait à environ 13 nm de la piste. Juste après qu'il eut transmis l'autorisation d'approche, le contrôleur a informé l'équipage de conduite que des averses de pluie de modérées à fortes balayaient l'aéroport, sans toutefois faire le point sur la visibilité. Ignorant que la visibilité était inférieure au minimum requis pour effectuer l'approche, l'équipage de conduite a poursuivi l'approche de la piste.

L'équipage de conduite n'a pas été informé d'importants changements à la visibilité; c'est pourquoi il a poursuivi l'approche malgré une visibilité inférieure au minimum requis.

2.3 *Déviation par rapport au profil d'approche*

Durant le segment d'approche finale, l'aéronef était stabilisé à un angle de descente de 3° et configuré pour l'atterrissage. À environ 0,5 nm avant le MAP, l'équipage de conduite a décidé de poursuivre l'approche en vol à vue, puisqu'il pouvait apercevoir le rivage et s'attendait à repérer la piste d'un instant à l'autre. À ce stade, l'aéronef descendait à un taux d'environ 820 pieds par minute (pi/min) et volait à quelque 159 nœuds de vitesse indiquée (KIAS) à un régime N_1 d'environ 62 %.

Le pilote aux commandes (PF) a ensuite débrayé le pilote automatique, conformément aux procédures d'approche de WestJet pour atterrir à TNCM. Peu après, le PF a réduit l'assiette de 0,5° en cabré à 1,2° en piqué, ce qui a augmenté la vitesse anémométrique. En réponse à l'augmentation de vitesse anémométrique, l'automanette a réduit la poussée des moteurs, de 62 % à 52 % N_1, pour maintenir la vitesse de 160 nœuds réglée plus tôt sur l'ordinateur de gestion de vol (FMC). À la suite de la réduction de poussée, l'aéronef a commencé à dévier sous l'angle de descente de 3°, à un taux de descente se situant entre 1000 et 1150 pi/min. Peu après, le PF a désactivé, puis réactivé les directeurs de vol et a commencé à commander manuellement les manettes des gaz, conformément aux procédures d'approche de WestJet pour atterrir à TNCM.

La réduction de l'assiette longitudinale a entraîné une augmentation de la vitesse anémométrique, et par conséquent une réduction de la poussée et un taux de descente plus élevé que celui requis pour l'angle de descente de 3°.

2.4 *Acquisition de références visuelles*

Durant la phase d'approche d'un vol, les pilotes sont susceptibles aux erreurs visuelles dans la transition du balayage visuel du tableau de bord, au balayage visuel de l'horizon pour repérer les références visuelles. Cette alternance d'un environnement à l'autre accroît la charge de travail cognitive des pilotes, les exigences imposées aux capacités de perception, et la complexité des tâches de surveillance de la trajectoire de vol, en particulier dans des conditions de visibilité réduite. La tendance à l'anticipation et les attentes pourraient également être des facteurs d'erreurs visuelles.

Dans l'événement à l'étude, l'équipage de conduite de l'aéronef qui avait atterri juste avant le WJA2652 avait indiqué avoir aperçu la piste lorsqu'il avait atteint les minima. L'équipage de conduite du WJA2652 s'attendait ainsi à apercevoir la piste peu après qu'il aurait franchi le MAPON. Des averses de pluie de modérées à fortes survenues après que l'aéronef eut franchi le MAPON ont considérablement réduit la visibilité. Le réglage à faible intensité du balisage lumineux de piste et des feux de l'indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI) a limité les références visuelles qui s'offraient à l'équipage de conduite pour reconnaître correctement la piste. Parmi les références visuelles que pouvaient apercevoir les pilotes, un hôtel à gauche de la piste, par sa forme, sa couleur et son emplacement, ressortait davantage que les environs de la piste, ce qui a amené l'équipage de conduite à le confondre avec la piste. Au moment où l'aéronef franchissait le MAPON, le PF a indiqué qu'il

apercevait la piste; il a amorcé un mouvement de roulis vers la gauche pour aligner l'aéronef sur ce qu'il croyait être la piste, mais était en réalité l'hôtel.

De loin, l'hôtel situé à gauche de la piste paraissait plus large à sa base et plus étroit au sommet qu'il ne l'était en réalité, ce qui lui donnait l'apparence d'une piste d'atterrissage. Toutefois, à mesure que l'aéronef s'en approchait, l'équipage de conduite s'est rendu compte qu'il s'agissait en fait d'un immeuble. Cette géométrie changeante n'aurait pas cadré avec les attentes du pilote relativement à l'apparence réelle d'une piste à l'approche. De plus, la pluie a peut-être brouillé les références visuelles comme l'hôtel, rendant une forme géométrique changeante plus difficile à reconnaître.

La visibilité et la perceptibilité réduites des environs de la piste ont réduit la capacité de l'équipage de conduite de s'apercevoir qu'il avait fait une erreur en croyant reconnaître la piste.

2.4.1 Gestion du balisage lumineux d'aérodrome

Le jour de l'événement, le balisage lumineux de piste à TNCM était éteint, et l'intensité des feux PAPI était réglée à 30 %. Se rendant compte que des averses de pluie de modérées à fortes diminuaient la visibilité, le contrôleur a allumé le balisage lumineux de piste selon le réglage automatique de nuit. Ce réglage a fixé l'intensité des feux de bord de piste à 3 %, mais a réduit l'intensité des feux PAPI à 10 %. La faible intensité du balisage lumineux de piste et des feux PAPI a réduit leur efficacité en tant que références visuelles et a limité la probabilité qu'un balayage visuel permette à l'équipage de conduite de les apercevoir.

D'après le document *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* (PANS-ATM) de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), les contrôleurs de la circulation aérienne doivent avoir des lignes directrices sur le réglage du balisage lumineux d'aérodrome en fonction des conditions météorologiques. À TNCM, on ne fournit aucune ligne directrice sur l'utilisation du balisage lumineux, et le réglage de son intensité lumineuse est à la discrétion du contrôleur, peu importe les conditions.

Si les consignes PANS-ATM de l'OACI ne sont pas mises en œuvre pour gérer l'intensité du balisage lumineux d'un aérodrome, il y a un risque que l'on ne sélectionne pas les réglages d'intensité optimaux selon les conditions météorologiques.

2.5 Surveillance de la trajectoire de vol

Une charge de travail visuelle élevée peut mener au rétrécissement de l'attention visuelle des pilotes, qui se concentrent alors uniquement sur les stimuli qu'ils perçoivent comme étant les plus importants. Ce rétrécissement de l'attention pourrait influer sur la façon dont les pilotes balaient du regard leurs instruments de vol, au risque de rater des renseignements cruciaux. Les pilotes peuvent également concentrer leur attention sur un élément particulier où ils prévoient un changement, ce qui les empêche de bien surveiller tous les instruments de vol pertinents et dégrade leur conscience situationnelle.

La Flight Safety Foundation (FSF) estime qu'une surveillance inadéquate de la trajectoire de vol constitue un facteur causal fréquent dans les événements à l'approche et à l'atterrissage. Elle a publié en 2014 un guide intitulé *A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring*, qui contient 20 recommandations pour améliorer la surveillance. D'après ce guide, toutefois, [traduction] « peu importe les mesures que prend un exploitant, [...] rehausser le rôle de surveillance dans le poste de pilotage représente un important défi opérationnel qui en vaut la peine[64] ».

WestJet fournit à ses équipages de conduite des lignes directrices sur la surveillance de la trajectoire de vol durant toutes les phases de vol et dans des conditions météorologiques défavorables. Toutefois, un examen des procédures opérationnelles de WestJet et de la formation qu'elle donne a révélé que seules certaines des recommandations de la FSF avaient été mises en application.

Dans l'événement à l'étude, lorsque l'aéronef était en approche finale avant le MAPON, des averses de pluie de modérées à fortes devant et à gauche ont obstrué la vue qu'avait l'équipage de conduite des environs de l'aéroport, et ont réduit sa capacité d'apercevoir la piste. Après qu'il eut franchi le MAPON, l'équipage de conduite a constaté une réduction de la visibilité vers l'avant plus grande que prévu au moment où l'aéronef s'est trouvé sous l'averse. L'accroissement de la charge de travail visuelle qui en a résulté a amené l'équipage de conduite à se concentrer sur la surveillance de références visuelles externes, ce qui l'a empêché de surveiller adéquatement l'altitude de l'aéronef.

Une augmentation de la charge de travail visuelle a entraîné une surveillance inadéquate de l'altitude, et la conscience situationnelle de l'équipage de conduite s'en est trouvée réduite. Par conséquent, l'équipage de conduite n'a pas remarqué que l'aéronef était passé sous l'angle de descente normal de 3° vers le seuil de piste. L'absence de texture visuelle et d'autres repères visuels au-dessus de l'eau a été un facteur dans l'incapacité de l'équipage de conduite à détecter l'altitude réduite de l'aéronef au-dessus de l'eau.

2.6 *Gestion des menaces et des erreurs*

La pratique de gestion des menaces et des erreurs (TEM) comprend la préparation et l'adaptation de plans d'action lorsque des menaces courantes sont cernées. L'objectif est de réduire les risques associés à ces menaces.

Durant le segment visuel de l'approche finale de l'aéronef au-dessus de l'eau, la pluie a réduit la visibilité plus que l'équipage de conduite ne s'y attendait, vu que les segments précédents de l'approche s'étaient déroulés de jour et dans des conditions de bonne visibilité. La faible intensité du balisage lumineux de piste et des feux PAPI, et l'absence de repères visuels au-dessus de l'eau n'ont pas été reconnues comme des menaces. Ainsi, l'équipage de conduite n'a pas tenu compte des conséquences possibles de ces menaces et n'a pris aucune mesure pour les atténuer.

---

[64] Flight Safety Foundation, *A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring* (novembre 2014), p. viii.

Si un équipage de conduite ne cerne pas et ne gère pas les menaces, il y a un risque accru d'erreur de la part de l'équipage, ce qui pourrait mener à un état défavorable de l'aéronef.

2.6.1 Formation sur la gestion des menaces et des erreurs

Comme l'explique un rapport d'enquête du BST datant de 2011[65], les exploitants assujettis à la sous-partie 705 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) sont actuellement tenus de donner une formation sur la gestion des ressources de l'équipage (CRM). Cependant, la réglementation n'ayant pas suivi les progrès de la théorie et de l'application de la CRM, elle est maintenant désuète.

Le Bureau a publié la recommandation A09-02 du BST, qui appelle à une formation CRM actualisée, et a exprimé en 2011 une préoccupation liée à la sécurité concernant la nécessité d'une approche exhaustive et intégrée de la CRM de la part de Transports Canada (TC) et des exploitants aériens. Depuis, TC a pris des mesures pour combler les lacunes de la réglementation existante. En janvier 2019, une nouvelle disposition des *Normes de service aérien commercial* (NSAC) doit remplacer le paragraphe 725.124(39) des NSAC courantes. Elle exigera des exploitants assujettis aux sous-parties 703 (taxi aérien), 704 (service aérien de navette) et 705 (entreprise de transport aérien) qu'ils dispensent une formation CRM actualisée qui comprend une formation sur la TEM.

2.7 Système d'avertissement de proximité du sol amélioré

Les systèmes d'avertissement de proximité du sol améliorés (EGPWS) sont conçus pour améliorer la sécurité en avertissant les équipages de conduite lorsque l'aéronef est dans une situation dangereuse et que des mesures correctives s'imposent. Certaines alertes exigent un changement dans la configuration de l'aéronef, et d'autres, un changement de trajectoire de vol.

2.7.1 Procédures de réponse aux alertes

D'après les procédures de réponse aux alertes d'EGPWS préconisées tant par l'avionneur que par l'exploitant, les pilotes doivent effectuer une vérification visuelle positive en cas d'alerte « TOO LOW, TERRAIN » (trop bas, relief) de l'EGPWS durant un vol dans des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) de jour. Cette étape vise à limiter le nombre de remises des gaz inutiles à cause d'alertes injustifiées. Cependant, la technologie EGPWS actuelle a réduit la fréquence des alertes injustifiées à tel point qu'elles sont aujourd'hui rares et presque toujours prévisibles. Par conséquent, l'étape de vérification visuelle positive de la procédure de réponse pourrait être superflue. De plus, elle ne reflète pas les procédures du fabricant d'EGPWS, selon lesquelles la montée est la seule réponse recommandée en cas d'alerte EGPWS.

---

[65] Rapport d'enquête aéronautique A11H0002 du BST.

2.7.2 Temps de rétablissement en cas d'alerte

À 63 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL), à la suite d'une alerte sonore « TOO LOW, TERRAIN » (trop bas, relief) inattendue de l'EGPWS, l'équipage de conduite a dû réviser sa conscience situationnelle dégradée. En entendant cette alerte, l'équipage de conduite a effectué une « vérification visuelle positive de l'absence de tout obstacle ou de tout relief dangereux » (conformément à la réponse que recommandent l'avionneur et l'exploitant aux alertes de l'EGPWS dans des conditions VMC de jour), avant de décider de la marche à suivre. Le PF a augmenté l'assiette de 4° en cabré; toutefois, vu que l'aéronef continuait de descendre, l'équipage a entendu une seconde alerte de l'EGPWS lorsque l'aéronef se trouvait entre 54 et 49 pieds AGL.

Lorsque l'équipage de conduite a effectué la vérification visuelle positive, l'absence de texture et d'autres repères visuels dans l'environnement extérieur a nui à sa capacité d'évaluer sa hauteur au-dessus de l'eau. Il lui a fallu plusieurs secondes pour comprendre que l'aéronef volait trop bas. Il a amorcé une remise des gaz 9 secondes après la première alerte de l'EGPWS, alors que l'aéronef n'était plus qu'à 40 pieds au-dessus de la surface de l'eau. La procédure de réponse aux alertes que recommandent l'avionneur et l'exploitant a retardé la réponse à la première alerte de l'EGPWS; durant ce laps de temps, l'altitude de l'aéronef a diminué de 63 à 40 pieds AGL avant que l'équipage de conduite ne prenne des mesures pour corriger la situation.

3.0 Faits établis

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. L'équipage de conduite n'a pas été informé d'importants changements à la visibilité; c'est ainsi qu'il a poursuivi l'approche malgré une visibilité inférieure au minimum requis.

2. La réduction de l'assiette longitudinale a entraîné une augmentation de la vitesse anémométrique, et par conséquent une réduction de la poussée et un taux de descente plus élevé que celui requis pour l'angle de descente de 3°.

3. Des averses de pluie de modérées à fortes survenues après que l'aéronef eut franchi le point d'approche interrompue ont considérablement réduit la visibilité. Le réglage à faible intensité du balisage lumineux de piste et des feux de l'indicateur de trajectoire d'approche de précision a limité les références visuelles qui s'offraient à l'équipage de conduite pour reconnaître correctement la piste.

4. Un hôtel à gauche de la piste, par sa forme, sa couleur et son emplacement, ressortait davantage que les environs de la piste, ce qui a amené l'équipage de conduite à le confondre avec la piste.

5. La visibilité et la perceptibilité réduites des environs de la piste ont réduit la capacité de l'équipage de conduite de s'apercevoir qu'il avait fait une erreur en croyant reconnaître la piste.

6. L'absence de texture visuelle et d'autres repères visuels au-dessus de l'eau a été un facteur dans l'incapacité de l'équipage de conduite à détecter la hauteur de l'aéronef au-dessus de l'eau.

7. L'augmentation de la charge de travail visuelle a entraîné une surveillance inadéquate de l'altitude, et la conscience situationnelle de l'équipage de conduite s'en est trouvée réduite. Par conséquent, l'équipage de conduite n'a pas remarqué que l'aéronef était passé sous l'angle de descente normal de 3° vers le seuil de piste.

3.2 Faits établis quant aux risques

1. Si les consignes des *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* de l'Organisation de l'aviation civile internationale ne sont pas mises en œuvre pour gérer l'intensité du balisage lumineux d'un aérodrome, il y a un risque que l'on ne sélectionne pas les réglages d'intensité optimaux selon les conditions météorologiques.

2. Si un équipage de conduite ne cerne pas et ne gère pas les menaces, il y a un risque accru d'erreur de la part de l'équipage, qui pourrait mener à un état défavorable de l'aéronef.

3.3 Autres faits établis

1. Comme WestJet avait d'abord déterminé qu'il s'agissait d'un événement à déclaration non obligatoire, les données de l'enregistreur de conversations de poste de pilotage et de l'enregistreur de données de vol ont été écrasées. Les enquêteurs n'ont donc pas pu les consulter.

2. Les procédures de réponse aux alertes du système d'avertissement de proximité du sol amélioré (EGPWS) préconisées tant par l'avionneur que par l'exploitant sont différentes des procédures figurant dans les documents d'orientation du fabricant de l'EGPWS.

3. La procédure de réponse aux alertes que recommandent l'avionneur et l'exploitant a retardé la réponse à la première alerte de l'EGPWS; durant ce laps de temps, l'altitude de l'aéronef a diminué de 63 à 40 pieds au-dessus du niveau du sol avant que l'équipage de conduite ne prenne des mesures pour corriger la situation.

4.0 *Mesures de sécurité*

4.1 *Mesures de sécurité prises*

4.1.1 *WestJet*

Après l'événement à l'étude, WestJet a mené une enquête interne et a élaboré un plan de mesures correctives. Ce plan comprenait :

- une lettre de sécurité (*Flight Safety Flash*) envoyée à tous les pilotes pour leur expliquer l'incident et leur donner des renseignements sur les menaces et les défis potentiels à l'aéroport international Princess Juliana (TNCM);
- une version révisée du document de qualification de route et d'aérodrome pour TNCM;
- un exposé sur la sécurité abordant cet incident, présenté à tous les équipages de conduite dans le cadre de la formation au sol annuelle;
- la conception d'une nouvelle approche aux instruments à TNCM.

Le document de qualification de route et d'aérodrome révisé pour TNCM contenait les renseignements additionnels suivants [traduction] :

> - **Prudence additionnelle requise durant les opérations par visibilité réduite.** La zone bâtie (terrains et bâtiments) au nord de la piste peut créer l'illusion d'une piste et mener à un angle d'approche trop bas.
>
>   Contre-vérifier la trajectoire visuelle par rapport au FMC [ordinateur de gestion de vol] pour s'assurer de l'alignement sur la vraie piste.
> - Étant donné la difficulté de distinguer visuellement la piste dans des conditions de visibilité réduite, il est recommandé d'envisager l'abandon de l'approche si vous ne voyez pas la piste ¼ de mille avant le MAP [point d'approche interrompue][66].

4.1.1.1 *Conception d'une nouvelle approche par WestJet*

Après l'événement à l'étude, WestJet a conçu une nouvelle procédure d'approche aux instruments de navigation de surface (qualité de navigation requise) (RNAV [RNP]) pour TNCM, qui fournirait le guidage vertical jusqu'au seuil de piste.

La compagnie a présenté son concept à la Sint Maarten Civil Aviation Authority (SMCAA) pour approbation; toutefois, en raison de la destruction grave de l'île de Saint-Martin par l'ouragan Irma, le 15 septembre 2017, et parce que toute communication avec la SMCAA a été interrompue, on considère ce projet comme étant en suspens pour une période indéterminée.

---

[66] WestJet, *Route & Aerodrome Qualification*, Princess Juliana International, Sint Maarten, Netherlands Antilles, TNCM/SXM (3 mai 2017), Cautions, p. 1.

4.1.2 Directives sur la gestion du balisage lumineux d'aérodrome à l'aéroport international Princess Juliana

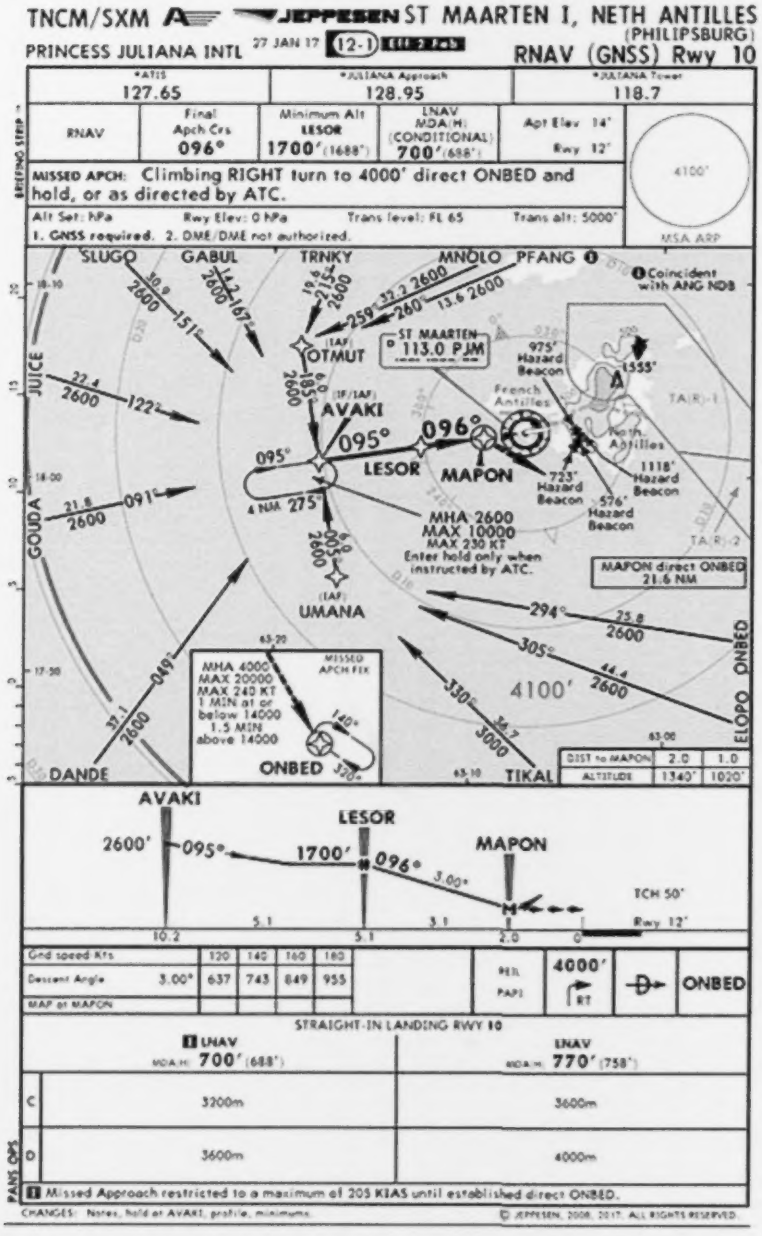
Après l'événement à l'étude, la SMCAA a indiqué aux Services de la circulation aérienne de Sint Maarten qu'il fallait inclure des directives sur la gestion du balisage lumineux d'aérodrome dans son manuel d'exploitation. On prévoit que ces directives sur la gestion du balisage lumineux d'aérodrome seront ajoutées au manuel d'exploitation d'ici septembre 2018.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 25 avril 2018. Le rapport a été officiellement publié le 4 juin 2018.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.

Annexes

Annexe A – Carte d'approche pour l'aéroport international Princess Juliana (Sint Maarten)



Source : Jeppesen Sanderson, Inc. Ne pas utiliser pour la navigation.